

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



REC'D 07 DEC 2004

WIPO PCT

EP04/12723

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 52 402.9
Anmeldetag: 10. November 2003
Anmelder/Inhaber: LASERTEC GmbH,
87437 Kempten/DE
Bezeichnung: Laserbearbeitungsmaschine und
Laserbearbeitungsverfahren
IPC: B 23 K 26/36

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 04. November 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Schäfer

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

A 9161
06/00
EDV-L

BEST AVAILABLE COPY

BEETZ & PARTNER
Patentanwälte
European Patent Attorneys
European Trade Mark Attorneys

Steinsdorfstraße 10 - D-80538 München
Telefon +49 89 21689100/Fax +49 89 21689200

gegründet 1926 von
Dipl.-Ing. R. BEETZ sen. (1897-1991)
Dr.-Ing. R. BEETZ jun. (1969-2000)

Dipl.-Ing. J. SIEGFRIED
Prof. Dr.rer.nat. W. SCHMITT-FUMIAN
Dipl.-Phys. Dr.rer.nat. C.-M. MAYR
Dipl.-Ing. A. PFEIFFER
Dipl.-Ing. B. MATIAS
Dipl.-Chem. Dr.rer.nat. Angelika SCHENK
Rechtsanwältin P. KOTSCH

157-60.137P/AP/zi

10.11.2003

5

Anmelder: LASERTEC GmbH, DE-87437 Kempten

10

Laserbearbeitungsmaschine und Laserbearbeitungsverfahren

15

Die Erfindung betrifft eine Laserbearbeitungsmaschine und ein Laserbearbeitungsverfahren nach den Oberbegriffen der unabhängigen Patentansprüche.

20

Es ist bekannt, Werkstücke durch Laserstrahlen zu bearbeiten und hierbei insbesondere Gesenke oder Öffnungen bzw. Bohrungen herzustellen. Die DE 199 60 797 beschreibt beispielsweise ein Verfahren zum Herstellen einer Öffnung in einem metallischen Bauteil. In einem ersten Schritte erfolgt Laserbohren mit bestimmten Laserparametern.

25

In einem zweiten Schritt wird ein nicht zylindrischer Trichter ausgebildet, wobei das metallische Material durch geeignete Wahl der Laserparameter beim Laserabtrag sublimiert wird. Verwendet wird hierzu ein Nd-YAG-Laser.

G./Kf/x3525ge



Aus der WO 00/18535 sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Materialabtrag aus einer Fläche eines Werkstücks bekannt. Hier werden Gesenke mit vergleichsweise komplexen Oberflächen durch geregelten, schichtweisen Materialabtrag mittels eines geführten Laserstrahls hergestellt.

Nachteil der bekannten Maschinen bzw. Verfahren ist es, daß sie bestimmte Bearbeitungsschritte, die bei der Herstellung bestimmter Gesenke oder Bohrungen auftreten können, nicht oder nur unter ungünstigen Betriebsbedingungen ausführen können. So kann das voluminöse Bohren eines Loches unmöglich bzw. nur unter unverhältnismäßigem Zeitaufwand möglich sein, oder es kann die Ausbildung von Gesenken mit befriedigenden Oberflächen nur ungenügend möglich sein.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Laserbearbeitungsmaschine und ein Laserbearbeitungsverfahren anzugeben, die die effiziente Formung auch komplexer Gesenke oder Löcher erlauben.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Abhängige Patentansprüche sind auf bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung gerichtet.

Eine Laserbearbeitungsmaschine weist eine Werkstückhalterung zur Halterung eines Werkstücks auf, eine erste Laserabtragsvorrichtung zur Bearbeitung eines Werkstücks mit ersten Arbeitsparametern und eine zweite Laserabtragsvorrichtung zur Bearbeitung des Werkstücks mit zweiten Arbeitsparametern, die insbesondere qualitativ und/oder quantitativ unterschiedlich zu den ersten Arbeitsparametern sind.

Die Laserbearbeitungsmaschinen können unterschiedliche Laserquellen aufweisen, und ebenso unterschiedliche Optiken, Sensoriken und Steuerungen.

- 5 Bei einem Laserbearbeitungsverfahren wird ein Werkstück eingespannt und dann mittels Laserlicht bearbeitet. Ohne Wechsel der Einspannung wird ein erster Bearbeitungsschritt mit einer ersten Laserabtragsvorrichtung mit ersten Arbeitsparametern und ein zweiter Bearbeitungsschritt mit einer zweiten Laserabtragsvorrichtung mit zweiten Arbeitsparametern, die insbesondere qualitativ und/oder quantitativ unterschiedlich zu den ersten Arbeitsparametern sein können, durchgeführt.

- 15 Der erste Bearbeitungsschritt und somit die erste Laserabtragsvorrichtung können Laserbohren bzw. ein Laserbohrer sein, und der zweite Bearbeitungsschritt bzw. die zweite Laserabtragsvorrichtung können eine Gesenkbildung für Gesenke mit komplexen Oberflächen und eine hierzu geeignete Vorrichtung sein.

- 20 Nachfolgend werden bezugnehmend auf die Zeichnungen einzelne Ausführungsformen der Erfindung beschrieben. Es zeigen

- Fig. 1 schematisch eine Gesamtansicht der Laserbearbeitungsmaschine,
 25 Fig. 2 ein Beispiel eines herzustellenden Werkstücks,
 Fig. 3 schematisch eine Arbeitsweise der ersten Laserabtragsvorrichtung,
 Fig. 4 schematisch die Arbeitsweise einer zweiten Laserabtragsvorrichtung, und
 30 Fig. 5 schematisch eine Draufsicht auf die Maschine.

In den beiliegenden Zeichnungen bedeuten gleiche Bezugsziffern gleiche Merkmale bzw. Komponenten. In Fig. 1 bezeichnen 1 ein Werkstück, 10 eine Werkstückhalterung, 2a, 2b, 2c und 2d translatorische und/oder rotatorische Achsen der Werkstückhalterung 10, 11 eine erste Laserabtragsvorrichtung, 12 eine zweite Laserabtragsvorrichtung, 13 eine erste Laserquelle, 14 eine zweite Laserquelle, 15 einen ersten Laserstrahl, 16 einen zweiten Laserstrahl in seinen möglichen Auslenkungen, 17 eine Strahlführung zur Bewirkung der Auslenkungen wie bei 16 gezeigt, 18 ein Maschinengehäuse, 8 eine erste Steuerung, 9 eine zweite Steuerung, 7 eine ggf. zwischen den Steuerungen vorhandene Schnittstelle, 3 bezeichnet einen Maschinenrahmen, und 4 und 5 Stellglieder, mit denen die Laserabtragsvorrichtungen ggf. gegen den Maschinenrahmen verfahren werden können, insbesondere in z-Richtung. Gegebenenfalls genannte Koordinatenachsen seien wie

15 symbolisch dargestellt, also x-Achse in der Zeichenebene nach rechts, y-Achse nach hinten aus der Zeichenebene senkrecht heraus, und z-Achse in der Zeichenebene nach oben.

Die erste Laserabtragsvorrichtung 11 kann eine Laserbohrvorrichtung sein. Die zweite Laserabtragsvorrichtung 12 kann eine Vorrichtung zur Bildung eines Gesenks, insbesondere mit komplexer Oberfläche im Werkstück 1, mit einem Laser sein. Sie können mit zueinander unterschiedlichen Arbeitsparametern, Laserparametern, oder Betriebsparametern betrieben werden, was jedoch die partielle oder zeitweise

25 Gleichheit von bestimmten Betriebsparametern in bestimmten Anwendungsfällen nicht grundsätzlich ausschließt. Auch können die Laser an sich zueinander unterschiedlich sein. So kann einer der Laser ein dioden- oder lampengepumpter Festkörperlaser sein, während der andere Laser ein gütegeschalteter Festkörperlaser sein kann. Weitere

30 Unterschiede hinsichtlich der Parameter zu den einzelnen Laserabtragsvorrichtungen werden weiter unten angegeben.

Eine der Laserabtragsvorrichtungen, in der gezeigten Ausführungsform die Nummer 12, kann eine Laserstrahlführung 17 aufweisen, die den Laserstrahl 16 über die Fläche des Werkstücks führt und so an unterschiedlichen Stellen Abtrag durch Materialaufschmelzung bzw. -verdampfung bewirkt. Schematisch angedeutet sind die linken und rechten Begrenzungen des Arbeitsbereichs des Lasers 16. Die Strahlführung der zweiten Laserabtragsvorrichtung kann Umlenkspiegel aufweisen, beispielsweise zwei orthogonal zueinander wirkende galvanische Spiegel.

Die andere (erste) Laserbearbeitungsvorrichtung 11 kann in bezug auf die Werkstückhalterung bzw. das Werkstück so ausgelegt sein, daß deren Relativposition zueinander verschieblich ist, was weiter unten bezugnehmend auf Fig. 3 erläutert wird. Die Verschiebung der Relativlage kann durch Verschieben der ersten Laserabtragsvorrichtung 11 erfolgen und/oder durch Verschieben der Werkstückhalterung 10. Die zwei Laserabtragsvorrichtungen 11, 12 können bezüglich einer, vorzugsweise bezüglich zweier, weiter vorzugsweise bezüglich der zwei horizontalen Translationsachsen der Werkstückhalter gegeneinander versetzt angebracht sein, was in Fig. 5 schematisch gezeigt ist. Die zwei Laserabtragsvorrichtungen 11, 12 sind sowohl in x-Richtung als auch in y-Richtung gegeneinander versetzt. Auf diese Weise erhalten sie im begrenzten Innenraum des Maschinengehäuses 18 einen vergleichsweise großen Abstand, so daß Kollisionen bei der Bewegung des Werkstücks vermieden bzw. der Freiheitsgrad bei der Bewegung des Werkstücks vergrößert werden.

Der Laserstrahlauslaß 11a einer der Laserabtragsvorrichtungen, insbesondere der ersten Laserabtragsvorrichtung 11, kann vertikal verschieblich sein. Insbesondere kann der Laserbohrer vertikal verschieblich sein. Auf diese Weise kann die Strahlgeometrie dem Bohrfortschritt folgen. Wenn der Laserstrahlauslaß verschieblich ist, kann

parallel und synchron hierzu die zugeordnete Laserquelle 13 verschieblich sein. In Fig. 1 kann also beispielsweise die erste Laserabtragsvorrichtung 11 mit dem Fortschritt des Bohrlochs im Werkstück nach unten gefahren werden, und die zugehörige Laserquelle 13 folgt ihr synchron und parallel.

Die gesamte Maschine weist ein Gehäuse bzw. eine Kabine 18 auf, die teilweise transparente Flächen aufweisen kann, um den Prozeßfortgang beobachten zu können. Das Gehäuse dient dem Rückhalt von Prozeßgasen und Prozeßprodukten, und ggf. auch der Schallisolation. Es dient auch dem Schutz der Benutzer davor, daß beispielsweise Körperteile in den Strahlengang geraten. Während die eigentlichen Laserabtragsvorrichtungen 11 und 12 in der Kabine 18 selbst vorgesehen sein können, können die Laserquellen 13 und 14 außerhalb der Kabine 18 angebracht sein und das jeweilige Laserlicht durch eine Öffnung und ggf. über einen umgrenzten Strahlengang der jeweiligen Laserabtragsvorrichtung 11, 12 zuführen.

Die zwei Laserabtragsvorrichtungen 11 und 12 können eine gemeinsame oder zueinander unterschiedliche Steuerungen 8 und 9 aufweisen, wobei unterschiedliche Steuerungen 8 und 9 eine Schnittstelle 7 aufweisen können. Die Steuerung der Laserbohrmaschine (erste Laserabtragsvorrichtung 11) kann mit niedrigerer Taktfrequenz arbeiten als die Steuerung der zweiten Laserabtragsvorrichtung. Die Taktfrequenz der zweiten Steuerung 9 kann mindestens das 10-fache, vorzugsweise mindestens das 50-fache der Taktfrequenz der ersten Steuerung 8 betragen.

Die erste Steuerung 8 kann dabei der Steuerung der ersten Laserquelle 13, der ersten Laserabtragsvorrichtung 11 und auch der Werkstückhalterung 10 dienen. Die zweite Steuerung 9 kann der Steuerung der zweiten Laserabtragsvorrichtung 12 mit der Strahlführung

17 und der Laserquelle 14 dienen. Eine Schnittstelle 7 zwischen den beiden Steuerungen 8, 9 kann in der Weise vorgesehen sein, daß die zweite Steuerung 9 durch die erste Steuerung 8 mittelbar bestimmte Maschinenkomponenten steuert, insbesondere beispielsweise Achsen 5 2 der Werkstückhalterung 10.

Die beiden Abtragsvorrichtungen 11, 12 können in der Weise unabhängig voneinander sein, daß sie getrennte Optiken und Fokussiereinrichtungen (jeweils nicht gezeigt) aufweisen. Die zweite Abtragsvorrichtung 12 kann eine nicht gezeigte Fokuslagensteuerung für den zweiten Laserstrahl 16 aufweisen. Diese Fokuslagensteuerung kann der Steuerung der Fokuslage in z-Richtung dienen.

Auch die jeweils vorhandenen nicht gezeigten Sensoriken können zu- 15 einander unterschiedlich sein. Die zweite Laserabtragsvorrichtung 12 kann eine ortsauflösende Tiefensensorik derart aufweisen, daß Zählentriplets bestehend aus x-, y- und z-Koordinate eines Oberflächenpunkts entsprechend der verfügbaren Auflösung ermittelt werden können.

20 Die erste Laserabtragsvorrichtung 11 kann eine Laserbohrvorrichtung sein und sie kann einen oder mehrere der folgenden Arbeitsparameter aufweisen:

- 25 - Laserimpulsfrequenz 0,1 bis 100 Hz, vorzugsweise 1 – 30 Hz,
- Laserimpulsdauer 0,1 bis 20 ms, vorzugsweise 0,3 bis 2 ms,
- Pulsspitzenleistung > 1 kW, vorzugsweise > 20 kW,
- mittlere Laserleistung 300 W - 3 kW,
- Energie pro Impuls 1 – 100 J, vorzugsweise 10 – 50 J,
- 30 - Laserart: Festkörperlaser, insbesondere dioden- oder lampengepumpter Festkörperlaser.

Die zweite Laserabtragsvorrichtung kann einen oder mehrere der folgenden Arbeitsparameter aufweisen:

- Laserimpulsfrequenz 1 bis 100 kHz, vorzugsweise 10 – 50 kHz,
- 5 - Laserimpulsdauer 10 bis 1500 ns, vorzugsweise 100 bis 500 ns,
- Laserleistung 10 – 200 W, vorzugsweise 20 – 50 W,
- Energie pro Impuls 1 – 50 mJ,
- Laserart: gütegeschalteter Festkörperlaser.

10 Beim erfindungsgemäßen Laserbearbeitungsverfahren wird das Werkstück ohne Wechsel der Einspannung von der ersten und von der zweiten Laserabtragsvorrichtung nacheinander oder auch abwechselnd bearbeitet. Zu diesem Zweck kann es zwischen den beiden Arbeitsfenstern bzw. Arbeitsstellen verfahren werden, insbesondere
 15 durch die Werkstückhalterung 10. In einem Bearbeitungsschritt kann beispielsweise eine Bohrung mittels Laser 15 angebracht werden. In einem zweiten Bearbeitungsschritt kann ein komplexer geformtes Gesenk mittels eines anderen Lasers 16 eingebracht werden.

20 Fig. 2 zeigt ein typisches Produkt: Ein Werkstück 1 ist mit einer Bohrung 21 zu versehen, die an einer Seite mit einer unsymmetrischen trichterförmigen Öffnung 22 versehen werden soll. Als erster Bearbeitungsschritt kann die Ausbildung der Bohrung 21 angesehen werden, die durch das ganze Werkstück 1 hindurch durch die erste Laserab-
 25 tragsvorrichtung 11 vorgenommen werden kann. Im oberen Teil der Fig. 2 ist dies gestrichelt angedeutet. Die trichterförmige Aufweitung 22 kann dann mit der zweiten Laserabtragsvorrichtung 12 geformt werden.

30 Zum Formen des Lochs 21 kann Laserstrahl 15 aus der ersten Abtragsvorrichtung 11 verwendet werden. Es kann hier ggf. auf Nachführung der Laserfokussierung entsprechend der fortschreitenden

Lochtiefe verzichtet werden, wobei aber insbesondere die Laserabtragsvorrichtung 11 bzw. Teile davon, insbesondere der Laserstrahlauslaß 11a, entsprechend dem Fortschritt des Eindringens des Laserstrahls in das Werkstück in z-Richtung nachgeführt werden können. Beim Laserbohren kann auch Prozeßgas zugeführt werden.

Fig. 3 zeigt eine mögliche Arbeitsweise beim Laserbohren, die entsprechend der in dieser Beschreibung gewählten Terminologie durch die erste Abtragsvorrichtung 11 vorzunehmen wäre. Aus der Auslaßöffnung 11a des Laserstrahls 15 tritt der Laserstrahl 15 aus und trifft auf das unter ihm liegende Werkstück 1. Die Laserparameter sind so gewählt, daß durch eine Mischung aus Verflüssigung und Verdampfen, evtl. Sublimation und Dampfaustreibung aufgeschmolzenen Materials der Laser sich allmählich in Tiefenrichtung des Werkstücks einbrennt. Er erzeugt dabei ein Loch des Durchmessers d_1 , der im Bereich einiger 10 oder 100 Mikrometer liegen kann und sogar bis einige wenige Millimeter erreichen kann. Wenn dieser Bohrungsdurchmesser ausreicht, ist mit dem einmaligen Einbrennen bzw. Durchbrennen des Laserstrahls durch das Werkstück der Bohrvorgang beendet.

Wenn dagegen ein Loch größeren Durchmessers geformt werden soll, beispielsweise mit Durchmesser d_2 , dann kann das Verfahren dahingehend ergänzt werden, daß das Werkstück 1 und die erste Laserbearbeitungsvorrichtung 11 so gegeneinander verfahren werden, daß mit dem Laserstrahl 15 die Außenkontur des gewünschten Lochs langsam abgefahren wird, wie dies durch die gestrichelte Linie 34 angedeutet ist. In Fig. 3 ist 31 als der Anfangspunkt der zu ziehenden Bahn anzusehen. 32 markiert den schon geschnittenen Kanal, und der Laserstrahl befindet sich gerade in der Schnittebene des Werkstücks und wandert dann weiter auf dem Lochumfang um, bis er der Bahn 34 folgend wieder am Ausgangspunkt 31 angelangt ist. Die Re-

lativverschiebung zwischen Laserabtragsvorrichtung 11 und Werkstück 1 kann durch langsame, schrittweise Einstellung der Achsen der Werkstückhalterung 10 erfolgen.

- 5 Fig. 4 zeigt das Vorgehen bei der Gesenkbildung, das in der Terminologie dieser Beschreibung mittels der zweiten Laserabtragsvorrichtung 12 vorgenommen wird. Es wird hier das Material schichtweise abgetragen, einige Schichten sind durch die Bezugsziffern 41 bis 44 angedeutet. Die Schichtdicken können einige Mikrometer bis einige 10 Mikrometer betragen. Eine einzelne Schicht wird abgetragen, indem die Fokusslage des Laserstrahls 16 so gesteuert bzw. geregelt wird, daß sie geeignet in bezug auf die gewünschte Schicht liegt, insbesondere in ihr liegt. Dann wird durch die variable Strahlführung 17 der Laserstrahl 16 so über die freiliegende Oberfläche geführt, daß am jeweiligen Auftreffpunkt das Material verdampft oder durch Dampfaustreibung verflüssigten Materials entfernt wird. Die zweite Laserabtragsvorrichtung 12 und das Werkstück 1 können hier in einer festen, unveränderten räumlichen Beziehung zueinander stehen. Es wird dann eine einzelne Schicht mit dem Laserstrahl vollständig abgefahren, z.B. mäandernd, und dann zur nächsten Schicht gegangen, indem die Fokusslage geeignet eingestellt und ggf. auch in Abhängigkeit von der jeweils momentanen x- und y-Koordinate des Auftreffpunkts nachgeführt wird, z. B. zum Ausgleich der Kalotte der Position des Laserfokus. Dies kann teils mechanisch, z. B. durch die Werkstückhalterung 10, und/oder teils optisch durch eine schnell einstellbare und veränderliche Optik ("z-shifter") erfolgen. Auf diese Weise werden einzelne Schichten nacheinander abgetragen, so daß auf diese Weise zuletzt das gewünschte komplex geformte Gesenk hergestellt wird. Es kann hier eine ortsauflösende Tiefensensorik vorhanden sein, die den Fortschritt an den einzelnen Flächenpunkten des Gesenks bzw. die jeweils dort herrschende Tiefe mißt, so daß nach Maßgabe der so gewonnenen Daten Steuerungen bzw. Regelungen bezugnehmend auf gespei-

cherte Gesenkdaten vorgenommen werden können. Insbesondere können hier die aus einem möglichen früheren Prozeß anhaftende Schmelzspritzer insbesondere auch von Anfang an dreidimensional erfaßt und dann im weiteren Ablauf ausgeregelt werden. Die Strahlführung 17 kann Schwenkspiegel aufweisen, die rechtwinklig zueinander wirkend angeordnet sein können.

Soweit nacheinander Bohrung wie bezugnehmend auf Fig. 3 und Gesenkbildung wie bezugnehmend auf Fig. 4 beschrieben vorzunehmen sind, kann es vorzuziehen sein, zunächst die Bohrung vorzunehmen und dann die Gesenkbildung, da durch die Gesenkbildung genauere Wände hergestellt werden können, die dann nicht mehr durch Anlagerungen aus dem vergleichsweise gröberen Bohrvorgang wieder verschlechtert werden.

Da bei der Gesenkbildung wie bezugnehmend auf Fig. 4 beschrieben die Lage des Fokuspunkts des Laserstrahls 16 in z-Richtung von Bedeutung sein kann, kann es vorgesehen sein, vor Beginn der Gesenkbildung gemäß Fig. 4 die absolute z-Lage der Werkstückoberfläche 1a zu messen. Vorzugsweise geschieht dies dann auch noch, bevor der Bohrvorgang gemäß Fig. 3 stattfindet. Es ist dann eindeutig eine Oberflächenreferenz bekannt, die, da das Verfahren ja ohne Umspannen des Werkstücks erfolgen kann, dann auch über den gesamten Vorgang hinweg erhalten bleibt.

Allgemein kann bei mehreren unterschiedlichen Arbeitsschritten zuerst derjenige mit höherer Laserleistung oder höherer Energie pro Impuls durchgeführt werden und dann derjenige mit niedrigerer Laserleistung bzw. niedrigerer Energie pro Impuls. Dies kann z. B. gewählt werden, wenn befürchtet wird, dass eine mit geringerer Laserleistung hergestellte vergleichsweise feine Oberfläche durch Spritzer eines nachher ausgeführten gröberen Vorgangs wieder zerstört wird. Es

- kann aber auch Anwendungen geben, bei denen die Abfolge genau andersherum ist, also zuerst der Schritt mit niedrigerer Laserleistung oder niedrigerer Energie pro Impuls und dann derjenige mit höherer Laserleistung bzw. höherer Energie pro Impuls. Auch alternierende
- 5 Vorgehensweisen sind denkbar. Das Bohren kann vor oder nach der Bildung eines fein definierten Gesenks erfolgen.

Die beschriebene Vorrichtung erlaubt die wohlangepaßte Laserbearbeitung unterschiedlicher Bearbeitungsteile bei der Formung eines Werkstücks. Es ist auf diese Weise möglich, die Laserbearbeitungsverfahren nicht nur im Bereich des Prototyping einzusetzen, wo man ja lange Bearbeitungsdauern noch vertreten kann, sondern auch im Bereich der Serienfertigung qualitativ hochstehender Werkstücke.

Patentansprüche:

1. Laserbearbeitungsmaschine, mit

5 einer Werkstückhalterung (10) zur Halterung eines Werkstücks (1), und

einer ersten Laserabtragsvorrichtung (11) zur Bearbeitung eines Werkstücks mit ersten Arbeitsparametern,

10 gekennzeichnet durch

eine zweite Laserabtragsvorrichtung (12), die ein Werkstück mit zweiten Arbeitsparametern, die insbesondere qualitativ
15 und/oder quantitativ unterschiedlich zu den ersten Arbeitsparametern sind, bearbeiten kann.

2. Laserbearbeitungsmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Laserabtragsvorrichtung eine erste Laserquelle (13) und die zweite Laserabtragsvorrichtung eine zweite Laserquelle (14) aufweist.

3. Laserbearbeitungsmaschine nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine der Laserabtragsvorrichtungen eine Strahlführung (17) aufweist, vorzugsweise mittels
25 einem oder mehreren Umlenkspiegeln.

4. Laserbearbeitungsmaschine nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, gekennzeichnet durch mechanische Stellachsen (2), mittels derer das Werkstück bezüglich eines Maschinenrahmens translatorisch verstellt werden kann, wobei die Laserstrahlauslässe der beiden Laserabtragsvorrichtungen bezüg-
30

lich mindestens einer, vorzugsweise zweier Achsen, weiter vorzugsweise bezüglich der zwei horizontalen Achsen (x, y) fest gegeneinander versetzt angebracht sind.

- 5 5. Laserbearbeitungsmaschine nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahlauslaß einer oder beider Laserabtragsvorrichtungen bezüglich mindestens einer, vorzugsweise der vertikalen Achse (z) verschieblich ist.

6. Laserbearbeitungsmaschine nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserquelle parallel mit und synchron zum Laserstrahlauslaß verschieblich ist.

- 15 7. Laserbearbeitungsmaschine nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, gekennzeichnet durch eine erste Steuerung (8) zur Steuerung der ersten Laserabtragsvorrichtung und eine zweite Steuerung (9) zur Steuerung der zweiten Laserabtragsvorrichtung.

- 20 8. Laserbearbeitungsmaschine nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Steuerung mit einer höheren Taktfrequenz als die erste Steuerung arbeitet.

- 25 9. Laserbearbeitungsmaschine nach Anspruch 7 oder 8, gekennzeichnet durch eine Schnittstelle (7) zwischen erster und zweiter Steuerung.

- 30 10. Laserbearbeitungsmaschine nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Laserabtragsvorrichtung eine erste Optik und die zweite Laserabtragsvorrichtung eine zweite Optik aufweist.

11. Laserbearbeitungsmaschine nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Laserabtragsvorrichtung eine erste Sensorik und die zweite Laserabtragsvorrichtung eine zweite Sensorik aufweist.

5

12. Laserbearbeitungsmaschine nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Laserabtragsvorrichtung eine Laserbohrvorrichtung ist und die zweite Laserabtragsvorrichtung eine Vorrichtung zur Gesenkbildung ist.

10

13. Laserbearbeitungsmaschine nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Laserabtragsvorrichtungen einen oder mehrere der folgenden Arbeitsparameter aufweisen kann:

15

- gepulstes Laserlicht, insbesondere Laserimpulsfrequenz 0,1 bis 100 Hz, vorzugsweise 1 – 30 Hz,
- Laserimpulsdauer 0,1 bis 20 ms, vorzugsweise 0,3 bis 2 ms,
- Pulsspitzenleistung > 1 kW, vorzugsweise > 20 kW,
- Laserleistung 300 W - 3 kW,
- Energie pro Impuls 1 – 100 J, vorzugsweise 10 – 50 J,
- Laserart: Festkörperlaser, insbesondere dioden- oder lam-pengepumpt,

20

25

30

und daß die zweite Laserabtragsvorrichtungen einen oder mehrere der folgenden Arbeitsparameter aufweisen kann:

- gepulstes Laserlicht, insbesondere Laserimpulsfrequenz 1 bis 100 kHz, vorzugsweise 10 – 50 kHz,
- Laserimpulsdauer 10 bis 1500 ns, vorzugsweise 100 bis 500 ns,
- Laserleistung 10 – 200 W, vorzugsweise 20 – 50 W,
- Energie pro Impuls 1 – 50 mJ,
- Laserart: gütegeschalteter Festkörperlaser.

14. Laserbearbeitungsverfahren, bei dem ein Werkstück eingespannt und dann mittels Laserlicht bearbeitet wird,

dadurch gekennzeichnet, daß

ohne Wechsel der Einspannung ein erster Bearbeitungsschritt mit einer ersten Laserabtragsvorrichtung mit ersten Arbeitsparametern und ein zweiter Bearbeitungsschritt mit einer zweiten Laserabtragsvorrichtung zur Bearbeitung des Werkstücks mit zweiten Arbeitsparametern, die insbesondere qualitativ und/oder quantitativ unterschiedlich zu den ersten Arbeitsparametern sind, durchgeführt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Bearbeitungsschritt das Anbringen einer Bohrung mittels Laser und der zweite Bearbeitungsschritt das Ausbilden eines Gesenks mittels Laser ist.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß eine für den zweiten Bearbeitungsschritt notwendige Abstandsmessung vor Vornahme des ersten Bearbeitungsschritts durchgeführt wird.
- 5
17. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß beim ersten Bearbeitungsschritt mittels der ersten Laserabtragsvorrichtung die Fokussierung des Laserstrahls fest ist, während beim zweiten Bearbeitungsschritt mittels der zweiten Laserabtragsvorrichtung die Fokussierung des Laserstrahls nachgeführt wird.
18. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß beim ersten Bearbeitungsschritt mittels der ersten Laserabtragsvorrichtung Prozeßgas zugeführt wird.
- 15
19. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß beim zweiten Bearbeitungsschritt mittels der zweiten Laserabtragsvorrichtung die Lage des Laserstrahls durch eine variable Strahlführung geführt wird.
- 20
20. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß beim ersten Bearbeitungsschritt mittels der ersten Laserabtragsvorrichtung die relative Position der Lage der ersten Laserabtragsvorrichtung zum Werkstück geändert wird.
- 25
21. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß zuerst der Bearbeitungsschritt
- 30

mit höherer Laserleistung und dann der Bearbeitungsschritt mit niedrigerer Laserleistung vorgenommen wird.

fig. 1

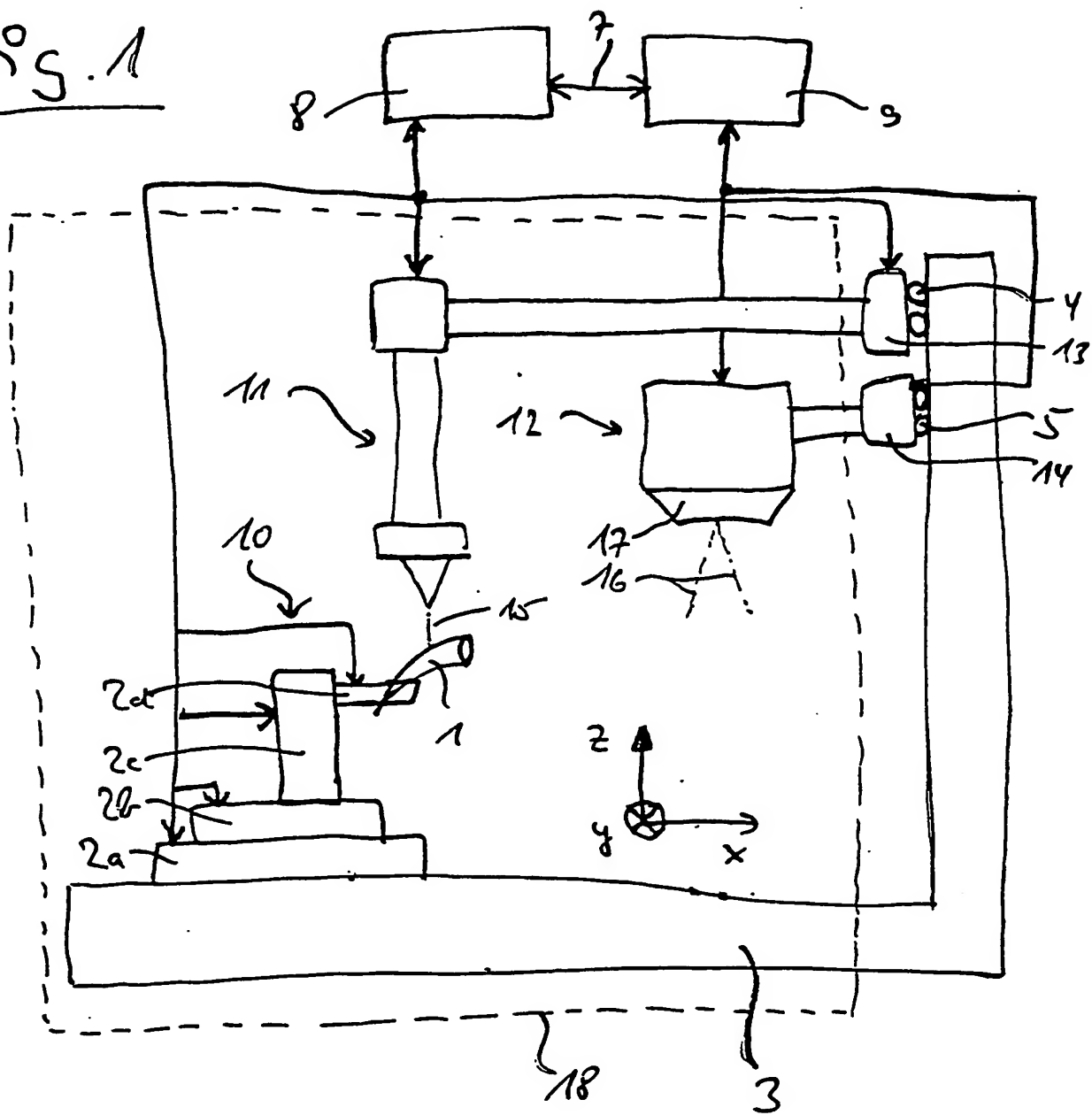


fig. 2

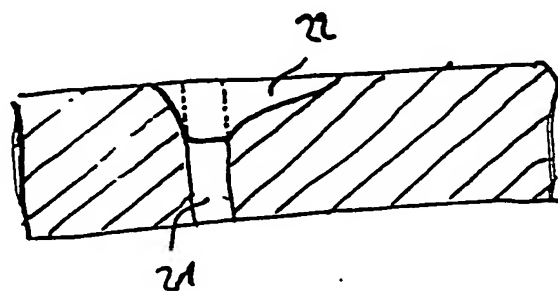


Fig. 3

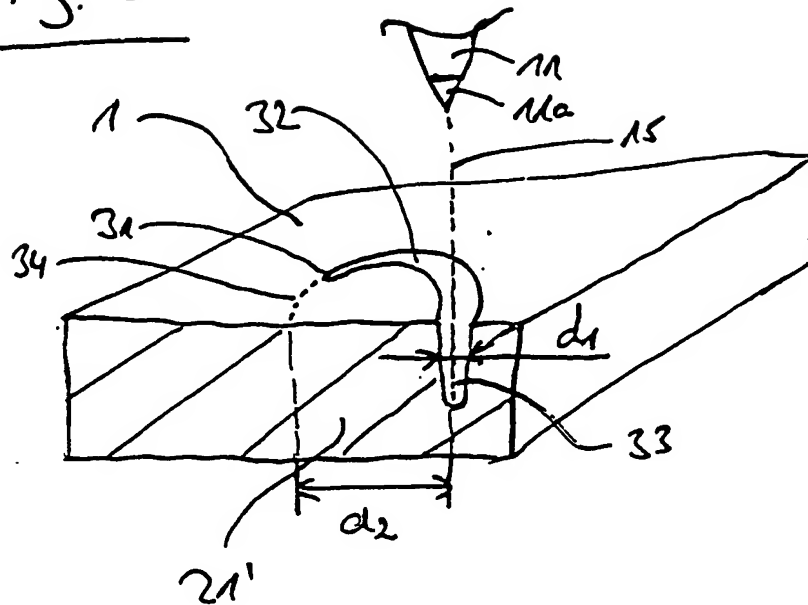


Fig. 4

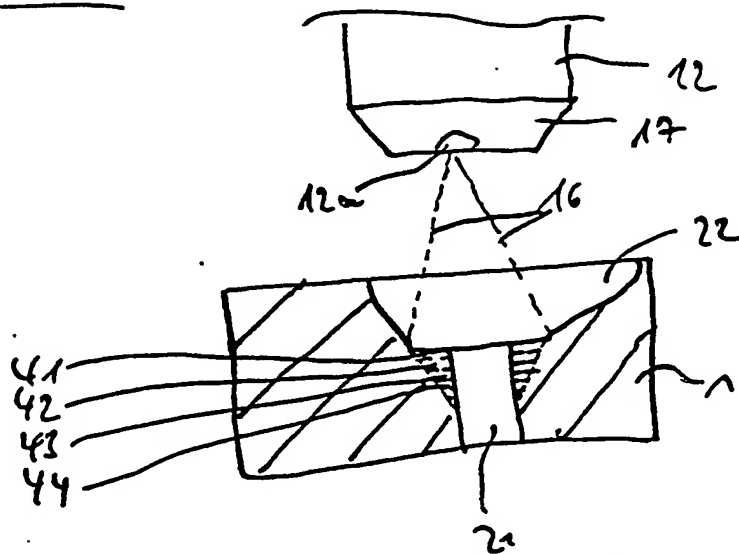
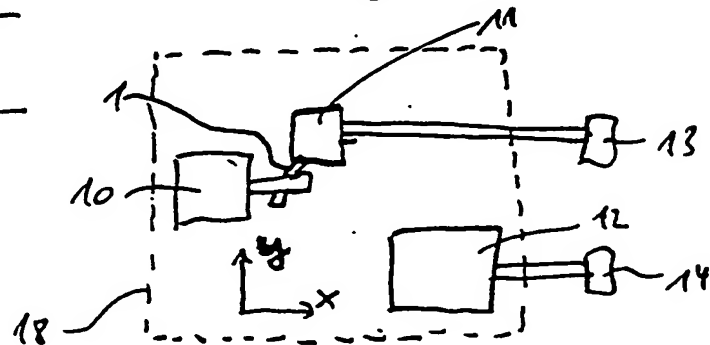


Fig. 5



Zusammenfassung

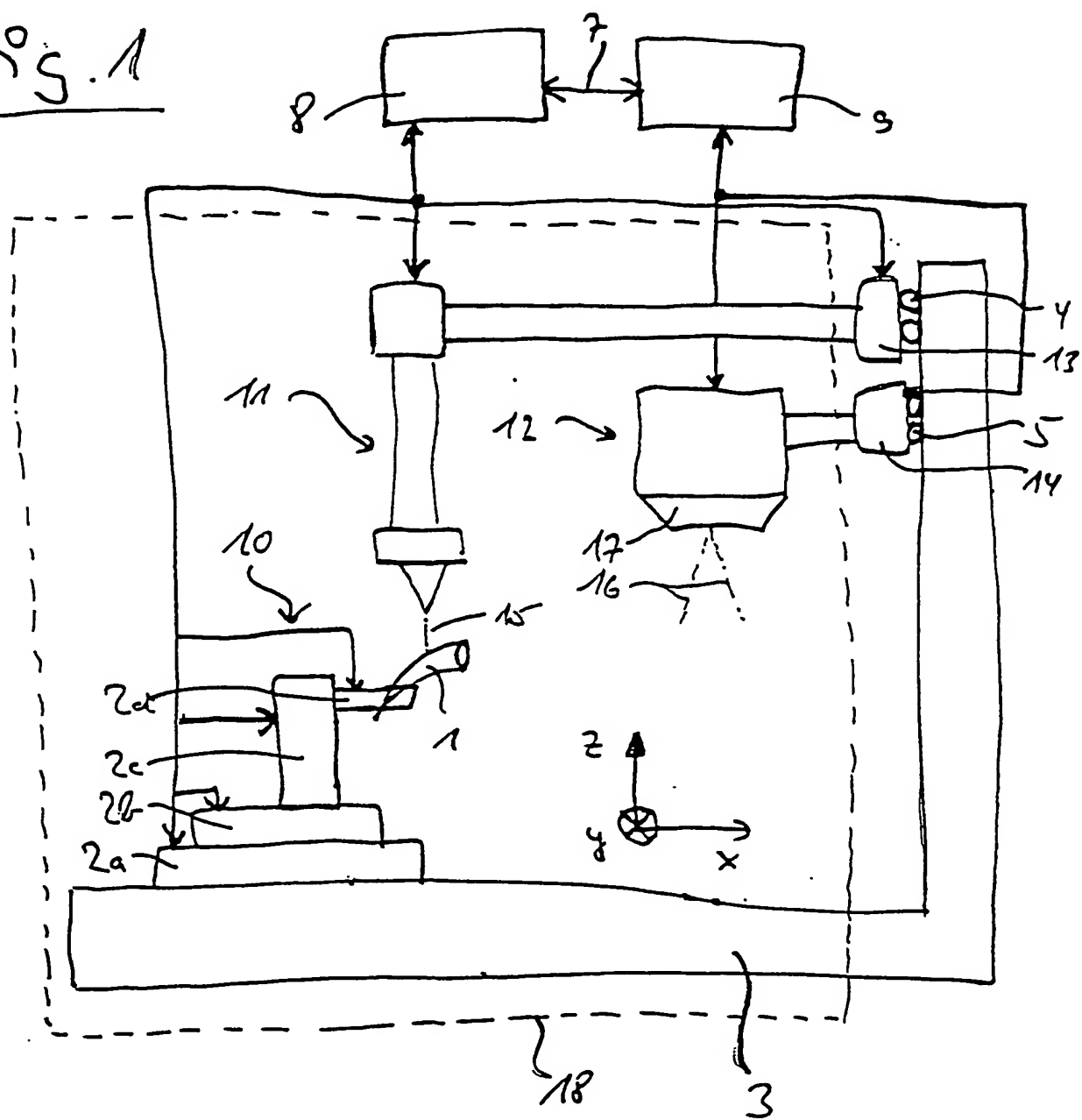
Laserbearbeitungsmaschine und Laserbearbeitungsverfahren

5

Eine Laserbearbeitungsmaschine weist eine Werkstückhalterung (10) zur Halterung eines Werkstücks (1) auf, eine erste Laserabtragsvorrichtung (11) zur Bearbeitung eines Werkstücks mit ersten Arbeitsparametern und eine zweite Laserabtragsvorrichtung (12), die ein Werkstück mit zweiten Arbeitsparametern, die insbesondere qualitativ und/oder quantitativ unterschiedlich zu den ersten Arbeitsparametern sind, bearbeiten kann.

15 (Fig. 1)

Fig. 1



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.